

# Pasarela peatonal en la Barriada de Miramar sobre la N-352 y nuevo acceso a la playa (Ceuta). Aspectos singulares de diseño y cálculo

*Footbridge at Miramar neighborhood over the N-352 road and new access to Miramar beach (Ceuta). Singular aspects of design and calculation.*

Pedro Sierra García<sup>a</sup>, Alejandro Castillo Linares<sup>b</sup>, Guillermo Montero Poyatos<sup>c</sup>,  
Francisco Javier Arnaiz Seco<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Ciudad Autónoma de Ceuta (Consejería de Fomento). Ingeniero de la Ciudad.  
psiegar@ciccp.es

<sup>b</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad de Granada (Granada, España). A.C.L. Diseño y Cálculo de Estructuras S.L. (Cádiz, España).  
Director Gerente. acastillo@acl-estructuras.com

<sup>c</sup>Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. A.C.L. Diseño y Cálculo de Estructuras S.L. (Cádiz, España). Director de proyectos.  
gmontero@acl-estructuras.com

<sup>d</sup>Arquitecto. Ciudad Autónoma de Ceuta (Consejería de Fomento). Arquitecto municipal. jarnaiz@ceuta.es

## RESUMEN

Durante los años 2018 y 2019, la Ciudad Autónoma de Ceuta ha construido una nueva Pasarela Peatonal sobre la carretera N-352, que mejora la accesibilidad entre la barriada de Miramar y la playa homónima, desarrollando en paralelo una ampliación de la anchura del paseo marítimo situado junto a la playa. La pasarela ha sido concebida con líneas regulares y sencillas. El tramo que cruza sobre la N-352 se prolonga, tras el apoyo en un pilono, en 20.8 m de longitud de voladizo hasta desembarcar en el nuevo paseo marítimo, ayudado de un par de tirantes. El pilono sirve igualmente de apoyo para la estructura de la rampa de acceso a la playa, concebida con sendos voladizos laterales de la misma tipología estructural.

## ABSTRACT

From 2018 to 2019, the Autonomous City of Ceuta has built a new footbridge over the N-352 road, which improves the accessibility between the Miramar neighbourhood and the homonymous beach, also developing an extension of the promenade width located next to the beach. The footbridge has been conceived with regular and simple shapes. The section that crosses over the N-352 lengthens, after the support in the pylon, in a 20.8 m-length cantilever which finally arrives at the new promenade, helped by a pair of braces. The pylon is also used as the support for the beach access ramp structure, designed with two cantilevers with the same structural typology.

**PALABRAS CLAVE:** pasarela, acero, singular, voladizo, proyecto, cálculo, pilono, accesibilidad.

**KEYWORDS:** footbridge, steel, singular, corbel, project, calculation, pile, accessibility.

## 1. Introducción

Dentro del Plan de Barriadas de la Ciudad Autónoma de Ceuta, se incluyó como medida necesaria la mejora de la accesibilidad desde la barriada de Miramar a la playa homónima, entre las que concurre la carretera nacional N-352.

La zona está situada relativamente próxima a la frontera, por lo que soporta un intenso tráfico tanto de vehículos como de personas. Esto había supuesto un incremento notable de la accidentalidad en los cruces a nivel controlados por pasos de cebra, por lo que se estableció como hito esencial la construcción de una pasarela entre ambas márgenes de la carretera, con una doble función. Por un lado, mejorar la accesibilidad a la playa y el potencial desarrollo de ésta. De otro, conectar la barriada al paseo marítimo, cuya ampliación y mejora es otro de los retos afrontados por la administración local.

Con estos antecedentes, se planteó la construcción de una Pasarela Peatonal que habilitase el paso entre ambas márgenes de la carretera, y sirviese además de elemento para el acceso directo a la playa desde el paseo marítimo.

Teniendo en cuenta que la carretera N-352 es la primera imagen de Ceuta en la llegada a la ciudad desde Marruecos, y el estado de deterioro que presentaba la zona fronteriza y su entorno, se consideró especialmente importante optar por un diseño de la estructura llamativo, pero de estética sobria, a la par que funcional.

El proyecto se redactó en el año 2017, y la construcción de la estructura se ha llevado a cabo entre los años 2018 y 2019.

## 2. Principales condicionantes para el diseño de la solución estructural

El condicionante principal para el encaje de la rasante de la estructura era conseguir el gálibo vertical requerido de 5.5 m a la carretera (figura 1), en una distancia horizontal desarrollada

reducida (aproximadamente 20 m) entre ambas márgenes, que además estaban situadas a una cota en alzado similar.



**Figura 1. Fotografía de la zona de implantación de la pasarela antes del comienzo de las obras.**

A esto hay que unir las limitaciones de pendientes longitudinales máximas del 8% permitidas por las ordenanzas municipales y normativas técnicas por razones de accesibilidad, así como las longitudes máximas admitidas entre rellanos de descanso.

Todo esto hizo valorar una solución en la que se aprovechara la propia playa como zona ocupada por la pasarela, a partir del muro de contención lateral de la carretera, al objeto de conseguir la longitud de estructura necesaria para que, sin rebasar las pendientes longitudinales admisibles, la pasarela pueda desembarcar a la cota del paseo marítimo.

La solución más evidente sería una estructura de desarrollo longitudinal en dos o tres vanos, con uno de ellos entre ambos lados de la carretera y otro sobre la playa. Sin embargo, las condiciones de dinámica litoral en la playa hacían inviable optar por una solución que implique el apoyo de la estructura cerca de la línea de costa (que además se encuentra relativamente cercana al muro, como se puede observar en la figura 2), por lo que se decidió que todo el tramo sobre la playa debía resultar volado.



**Figura 2. Fotografía de la playa antes de la construcción de la pasarela.**

El voladizo resultante contribuye además a dotar a la estructura de cierta singularidad, como se pretendía por parte de la administración, pero con la premisa de seguir una línea estética sobria, acorde con las condiciones del entorno. Por este último motivo, se desestimaron posibles soluciones atirantadas más convencionales [1], como pudiera ser con un mástil elevado y mayor densidad de tirantes [2].

Por otro lado, la posición del pilono y cualquier elemento estructural ubicado dentro de la playa debía respetar una separación mínima al muro de contención de la carretera, propiedad del Ministerio de Fomento. La separación requerida llevaba a la necesidad de acercar demasiado el pilono a la línea de costa. Esto, unido al deficitario estado de conservación que presentaba el muro, llevaron a que finalmente se optase por construir un nuevo muro vertical de pilotes, retranqueado hacia el interior de la carretera, como actuación complementaria del proyecto.

Como último condicionante especial para el diseño de la estructura, se establece la necesidad de mantener abierta al tráfico la carretera N-352, ya que es una de las arterias principales de comunicación con la frontera de Marruecos. A este respecto, la construcción de una solución con tablero metálico es la que minimiza en mayor medida las posibles afecciones.

### 3. Descripción de la estructura proyectada

La estructura está formada por dos tramos diferenciados, uno que permite el paso sobre la carretera nacional para dar conexión entre ambos márgenes de la vía (que se designó dentro del proyecto como pasarela), y otro para el acceso a la playa desde la acera (tramo que se definió en proyecto como rampa).

El dintel de la pasarela está constituido por una viga metálica que sobresale por encima del forjado de paso peatonal, que cruza sobre la carretera y que, tras el apoyo en el pilono principal situado junto al muro de contención, se prolonga en un voladizo de 20.8 m de longitud, ayudado por un par de tirantes metálicos (véase figura 3). El voladizo está formado por dos zancas de acero estructural, de forma que la final desembarca a la cota del nuevo paseo marítimo.



**Figura 3. Vista lateral general de la pasarela.**

De forma paralela a la carretera se disponen varios tramos de rampa que permiten bajar desde el paseo hasta la playa, todos ellos empotrados en el mismo pilono. Se trata de dos voladizos de 30.4 m de longitud de acero estructural, esviados respecto al tramo principal de la pasarela, que poseen el mismo tipo de configuración de tablero que el de la pasarela. Está constituida por tramos con pendiente del 8% alternos con rellanos horizontales.

La sección transversal del tablero se resuelve con una viga metálica de sección cajón de 50 cm de anchura y 1.45 m de canto, a la que se conecta en la zona inferior, en voladizo, el forjado de paso peatonal. De este modo, la viga de canto superior sirve además de barrera de seguridad en el lado en el que está colocada (figura 5).



Figura 4. Fotografía de la pasarela desde la playa, en la que se observan las rampas en voladizo.

Los tirantes son perfiles tubulares soldados al pilono y la viga de canto, que son colocados una vez está completamente montada la pasarela. Por lo tanto, se dimensionan únicamente para los esfuerzos derivados de las acciones variables y las cargas muertas [4].

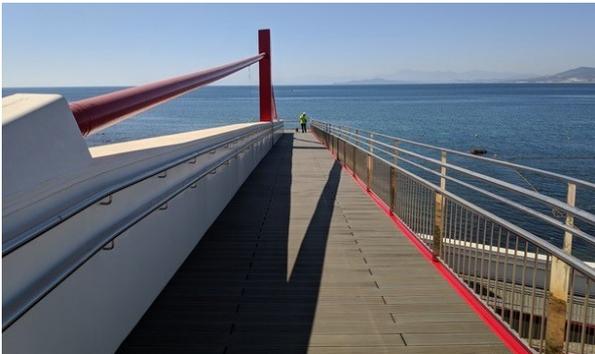


Figura 5. Fotografía desde el interior de la pasarela.

El apoyo principal del tablero de la pasarela y la rampa volada se realiza sobre un pilono situado en la playa (figura 6), cimentado profundamente mediante pilotes de 80 cm de diámetro, bajo encepado de 11.0x5.8x1.5 m. El pilono posee un tramo superior completamente metálico, que se suelda y solidariza a la viga metálica de canto de la pasarela, y un tramo inferior mixto de acero estructural y hormigón.

El encepado del pilono se recrece localmente en canto en la zona de desembarco de la rampa sobre la playa, ya que constituye el elemento de empotramiento de la viga metálica de la rampa. El empotramiento se materializa mediante el relleno de la viga metálica con hormigón autocompactable, la disposición de pernos de conexión entre ellos, y el recrecido del encepado de conexión entre el pilono y la cota de rasante de la rampa metálica.

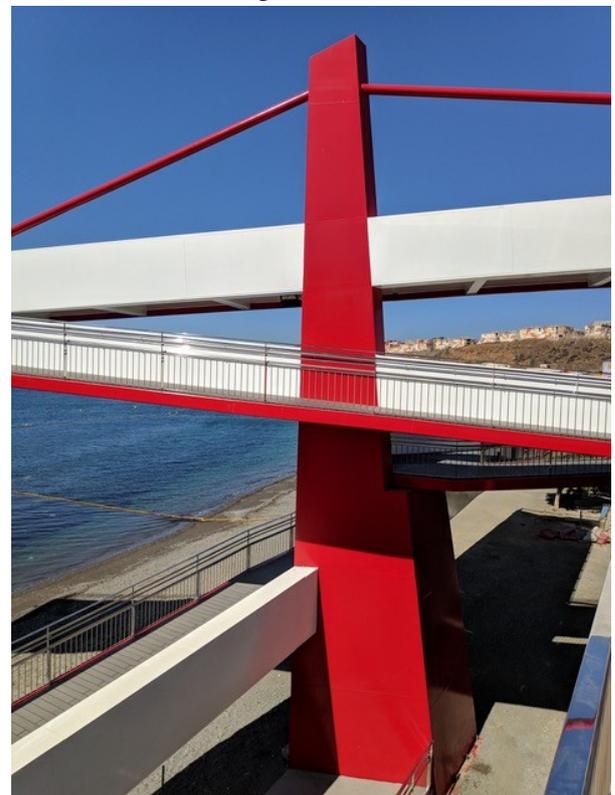


Figura 6. Vista del pilono desde el lado Ceuta.

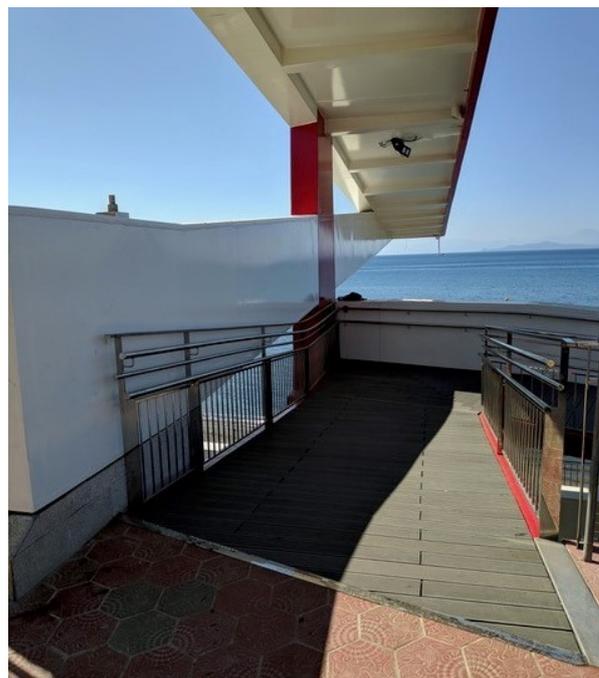
En el lado opuesto a la playa, la pasarela queda apoyada sobre una pila metálica en V, formada por dos fustes sección cajón, uno vertical y el otro inclinado 45° respecto a la vertical. Sobre el pilar vertical se dispone un neopreno circular de Ø200x71 (32) mm soldado a la estructura metálica (tanto a tablero como a pila), mientras que el inclinado se suelda a la estructura metálica del forjado de la pasarela. El acceso a la pasarela en esta margen se realiza a través de una rampa materializada mediante sendos muros de hormigón armado y losa de cimentación, conformando una sección en U, que queda rellena de tierras.

En los 58 m de longitud en planta en los que se desarrolla la rampa de acceso a la playa, el muro de mampostería existente para el desnivel entre la carretera/acera y la playa fue sustituido por un nuevo muro-pantalla de pilotes de 80 cm de diámetro (figura 7), separados entre sí 1.25 m a ejes. La altura máxima de contención del terreno es de 7.5 m. Los pilotes quedan unidos en cabeza por viga de atado de 1.0 m de anchura y anclados horizontalmente mediante micropilotes de 20 cm de diámetro inclinados 30° respecto a la vertical. La separación entre micropilotes es de 2.5 m.



**Figura 7. Fotografía del muro durante la construcción.**

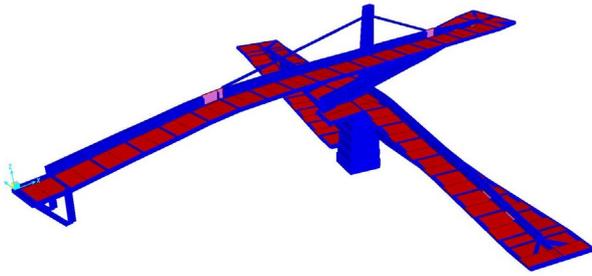
La viga de atado dispuesta en coronación del muro de pilotes sirve además como elemento de apoyo de las entradas a la pasarela y a la rampa desde la acera (figura 8). Para ello se emplean neoprenos anclados a la viga de hormigón y soldados a la estructura metálica a través de chapa superior vulcanizada al neopreno más cuña metálica mecanizada debido a la pendiente longitudinal del tablero. Además, se disponen unos muretes laterales dotados de neoprenos verticales que funcionan como topes transversales de la estructura.



**Figura 8. Imagen de la entrada a la rampa de acceso a la playa desde el paseo marítimo.**

#### **4. Procedimiento de cálculo. Modelos estructurales.**

Para realizar el dimensionamiento de la estructura, se llevó a cabo un modelo de cálculo global (figura 9), que incluye tanto la estructura aérea como la cimentación y la interacción lateral de los pilotes con el terreno. El modelo tiene en cuenta la secuencia constructiva a efectos de determinar los esfuerzos en los distintos elementos constituyentes de la estructura.



**Figura 9. Imagen del modelo de cálculo general.**

A partir de los esfuerzos obtenidos en diseño y servicio se llevó a cabo el dimensionamiento de los distintos elementos estructurales [6]. Éste se completó con las comprobaciones de tipo dinámico, verificando que las frecuencias horizontal y vertical de los primeros modos de vibración se encontrasen fuera del rango de peligro de resonancia, y que se garantizase el cumplimiento del estado límite de vibraciones para confort del usuario [3]. Asimismo, se analizó el estado límite de servicio de deformaciones, en virtud del cual se dotó a la estructura de la oportuna contraflecha constructiva.

La configuración adoptada para los voladizos lleva a que éstos funcionen como una viga de gran canto compuesta por dos tramos independientes unidos entre sí en el borde del voladizo. Los esfuerzos de flexión en el voladizo se descomponen en una tracción sobre la viga superior y compresión sobre la viga inferior (véase figura 10).

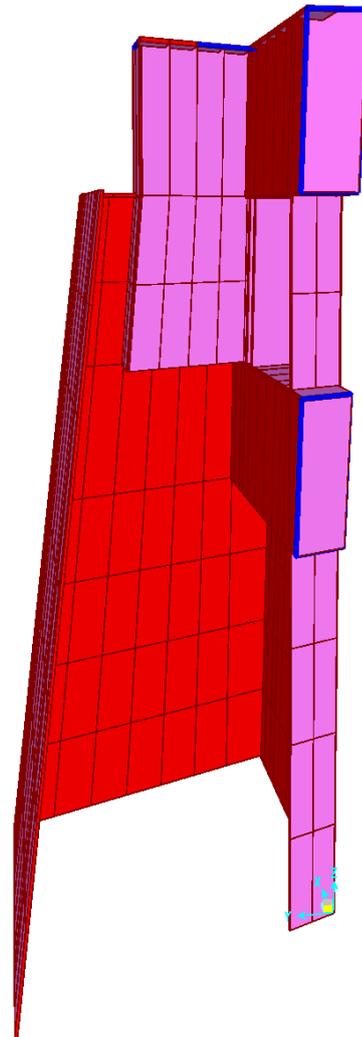


**Figura 10. Esquema de comportamiento estructural de vigas en los tramos volados.**

La rigidez y capacidad estructural que este sistema posee hace posible disponer de una estructura volada de hasta 30 m de longitud.

Además de los modelos para estudiar el comportamiento global de la estructura, se realizaron modelos específicos de determinados elementos en particular, entre los que destacan:

- 1) Modelo de elementos finitos para dimensionamiento del armazón metálico del pilono de sección mixta. Éste se emplea con una doble función: como encofrado perdido para hormigonar el interior del pilono y, por otro lado, como elemento con capacidad resistente suficiente para transmitir los esfuerzos desde la zona superior metálica al hormigón armado, que es el que realmente queda conectado al encepado.



**Figura 11. Imagen del modelo de elementos finitos de la zona inferior de la estructura metálica del pilono.**

El modelo incluye un conjunto de rigidizadores verticales internos, que son los elementos encargados de transferir los esfuerzos derivados del empotramiento de la rampa en el pilono, que se descomponen en un par de fuerzas verticales ascendente y descendente.

- 2) Modelos de elementos finitos para estudio placas de reparto, anclaje de tirantes a tablero y pilono, etc.
- 3) Modelos particulares para el cálculo del muro de pilotes y micropilotes dispuestos en coronación como sistema de anclaje pasivo horizontal.

## **5. Singularidades del procedimiento constructivo.**

### ***5.1 Introducción***

La estructura metálica presenta unas características y peculiaridades que, aunque aparentemente sean relativamente sencillas por su estética sobria, requieren de la fabricación en talleres metalúrgicos especializados en estructuras y el control de la fabricación por una empresa de asesoría externa.

Durante el desarrollo completo de la obra, incluido el proceso de fabricación de la estructura metálica, ACL Estructuras, como proyectista de la pasarela, llevó también a cabo una Asistencia Técnica estructural continua en la que se realizaron diferentes adaptaciones respecto al proyecto original, en función de los contratiempos acontecidos.

A continuación, se describirán las particularidades y soluciones más singulares a nivel constructivo durante el transcurso de la obra.

### ***5.2 Modificación de la tipología del pilono.***

El proyecto original de la estructura preveía la realización de un pilono de hormigón armado

hasta la cota de paso del voladizo de la pasarela, y desde ese punto hacia arriba el pilono metálico.

Tanto el tramo superior metálico como la viga de canto de los dos tramos de rampa, quedaban completamente embebidos en la sección de hormigón del pilono, y conectados al mismo mediante pernos. La densidad de pernos y armadura de refuerzo necesaria alrededor de los mismos, unido a que algunas zonas resultaban de difícil accesibilidad, llevaron a que el Contratista expusiese ciertas incertidumbres sobre la correcta construcción de la estructura con los rigurosos acabados necesarios en estos detalles específicos. Siendo así, se decidió aplicar una variante en el diseño del pilono.

La solución finalmente adoptada consistió en disponer una estructura exterior metálica abierta en uno de los cuatro lados, y el interior del pilono con hormigón armado. Por el lado abierto, los operarios podían acceder durante las operaciones de ferrallado y hormigonado. El armazón metálico está en continuidad con la zona superior metálica del pilono y con las vigas metálicas de las rampas, y posee capacidad resistente suficiente para resistir por sí solo los esfuerzos solicitantes hasta la zona inferior del pilono. De este modo, se reduce sensiblemente el número de pernos conectadores necesarios y, sobre todo, su densidad en zonas locales.

En la zona inferior del pilono se transfieren los esfuerzos a la sección de hormigón armado, en una zona bastante más amplia y, en consecuencia, con menor densidad de pernos.

En la figura 12 se puede apreciar la existencia del lado de pilono no cubierto con chapa, por el que podían acceder los operarios. Se observan igualmente los tramos iniciales de la viga cajón de las rampas y la propia pasarela, a las que posteriormente se sueldan los distintos tramos de estructura.



Figura 12. Fotografía del pilono colocado antes del ferrallado y hormigonado del interior.

### 5.3 Transporte y montaje de la estructura metálica.

La estructura metálica fue fabricada en un taller metalúrgico de Sevilla y transportada en barco hasta la ciudad de Ceuta. Esto condicionaba que las dovelas tuviesen una longitud máxima ajustada, y fuesen trasladadas desde el puerto al emplazamiento de la obra en horario nocturno.



Figura 13. Fotografía correspondiente al transporte del tramo inferior del pilono metálico.

El pilono fue colocado en obra mediante grúas situadas a nivel de la carretera superior. Durante la colocación, dado que las armaduras de espera provenientes del encepado deben quedar enhebradas entre los pernos conectadores, hubo que realizar trabajos de rectificación de la posición de algunas barras, a pesar de que la situación de las mismas estaba prevista en proyecto en consonancia con la separación entre pernos.

Posteriormente se completaron los trabajos de ferrallado en el interior del tramo inferior del pilono y su hormigonado por tongadas de altura máxima de 2.0 m, con objeto de minimizar los empujes del hormigón fresco sobre el armazón metálico que, en esta fase constructiva, funciona como encofrado.

Una vez completada la construcción del pilono, se colocaron los distintos tramos de la pasarela y rampas en voladizo con grúa sobre unas torres provisionales, una de las cuales quedaba emplazada en zona de carrera de marea (figura 14), por lo que hubo de ser protegida frente a la socavación de la arena.



Figura 14. Colocación del voladizo principal.

Completada la instalación de las distintas piezas, se procedió a realizar todas las soldaduras de conexión necesarias antes de la retirada de las torres de apoyo provisional. Para ello, se fueron aflojando poco a poco los husillos de las torres de cimbra, controlándose que el descenso diferencial máximo de la estructura entre dos torres de un mismo tramo de estructura no fuese superior a 5 mm. De este modo, se conseguía la puesta en carga progresiva de la estructura hasta alcanzar la configuración para la que ha sido diseñada. Durante todo el proceso de

descimbrado se llevó a cabo un control topográfico de la estructura, verificando que las flechas en la misma resultasen similares a las teóricas de cálculo.

Una vez deformada la estructura por su peso propio, se procedió a la instalación de los tirantes, que han sido proyectados para trabajar sólo ante las cargas muertas y acciones variables.

#### ***5.4 Ejecución del muro de pilotes.***

En toda la longitud de paseo marítimo en la que se extienden las rampas de la pasarela para el acceso a la playa, se definió en el proyecto la sustitución del muro de contención existente por una pantalla de pilotes verticales y micropilotes inclinados. La construcción de esta estructura de contención permitió subsanar deficiencias estructurales y de conservación detectadas en el muro existente, y conseguir el resguardo mínimo requerido por la Propiedad entre la estructura de la pasarela y el muro de contención de la carretera.

Cuando se abordó la ejecución de los pilotes, se comprobó que el estado del muro existente era aun más deficitario de lo esperado, ya que la propia construcción de los pilotes (retranqueados respecto al paramento visto del muro) producía desprendimientos acusados en el muro que ponían en riesgo su integridad durante los trabajos de obra.

Ante esta circunstancia, se adoptaron dos medidas de precaución en obra:

- 1) Retranquear aún más la posición de los pilotes hacia la carretera.
- 2) Relleno de tierras en el intradós (lado de la playa) como elemento de contención provisional adicional.

Una vez se completó la ejecución de los pilotes, los micropilotes inclinados y la viga de atado entre ellos, se llevó a cabo la retirada de las tierras del intradós, la demolición del muro por delante de los pilotes y la construcción de un muro forro con rehundidos de carácter estético, conectado a los pilotes.

La construcción del muro pantalla de pilotes (figura 7) permitió constatar que el estado de conservación del muro existente era más deficitario de lo inicialmente esperado. Por esta razón, en la actualidad se está llevando a cabo la construcción de un muro de la misma tipología que el adoptado junto a la pasarela, en prolongación del mismo, como elemento de contención que sustituirá al muro actualmente existente.

#### ***Referencias.***

- [1] Holger Svensson, Cable-Stayed Bridges. 40 Years of Experience Worldwide, Ernst & Sohn Wiley-Blackwell, 2012.
- [2] Miguel Aguiló, La ligereza de las Pasarelas Españolas, Grupo ACS, 2009.
- [3] Luis Viñuela Rueda, José Martínez Salcedo, Proyecto y Construcción de Puentes Metálicos y Mixtos, Publicaciones APTA, 2009.
- [4] Florencio del Pozo, José Emilio Guerrero, Manual de Tirantes, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, ACHE, 2007.
- [5] Miguel Aguiló, Javier Manterola, Mario Ozaín, Javier Rui-Wamba, Javier Manterola Armisen. Pensamiento y Obra, Fundación Esteyco, 2004.
- [6] Comisión Permanente de Estructuras de Acero, Instrucción de Acero Estructural EAE-2011, Ministerio de Fomento, Madrid, 2011.